

Elementos de microondas: Un enfoque práctico

Ing. Eduardo J. Menso*

Descripción de los distintos tipos y sus aplicaciones

Introducción

Se describen las características salientes de los principales elementos de microondas más comúnmente utilizados.

Atenuadores

Generalidades

Los dispositivos atenuadores hallan diversos usos a las frecuencias de microondas. Los principales son:

- Aislamiento de una fuente de señal de las reflexiones de la carga de manera de evitar variaciones de frecuencia y/o de potencia.
- Ajustar el nivel de señal (brazo de un circuito en puente de microondas).
- Medir el nivel de señal (atenuador calibrado).
- Medir la potencia total (terminación perfecta).

Sé usan diversos materiales para atenuar la energía de microondas, pero todos tienen en común: a) la profundidad de las capas en el material es del orden de magnitud de la longitud de las microondas o superior a ésta; b) la estructura o estado molecular admite un mecanismo de pérdidas.

Los atenuadores pueden ser dispositivos fijos o de potencia variable baja, capaces de manejar solos desde unos pocos vatios de potencia hasta kilovatios.

Atenuador "padding" variable

Consiste en un cristal con forma ahusada y recubierto de un material conductor que generalmente es nítron. El cristal se sitúa dentro de la guía paralelo a las paredes laterales, de manera tal que los vectores E queden en el plano del cristal. Parte de la energía que fluye en la guía de onda se encuentra con el cristal y es absorbida en él como disipación de calor. Si el cristal se sitúa en el centro de la guía, se disipa la máxima energía y se produce la mayor atenuación.

En la Fig. 1 se ve el dispositivo y la distribución del campo E en la guía de onda. En el centro de la guía el campo es máximo y se tendrá la mayor atenuación; en los extremos, el campo es mínimo y también lo es la atenuación. Si se quiere otro valor de atenuación, solamente hay que desplazar el cristal a uno y otro lado de la guía.

El mecanismo por el cual se produce la atenuación se da pues al situarse el cristal con su recubrimiento metálico

Profesor adjunto ordinario "Medios de enlace"; profesor adjunto interino "Sistemas de microondas"; jefe del Laboratorio de Comunicaciones (Universidad Técnica Nacional Facultad Regional Córdoba); profesor titular de "Sistemas de comunicaciones" (Instituto Técnico "Luis M. Robles").

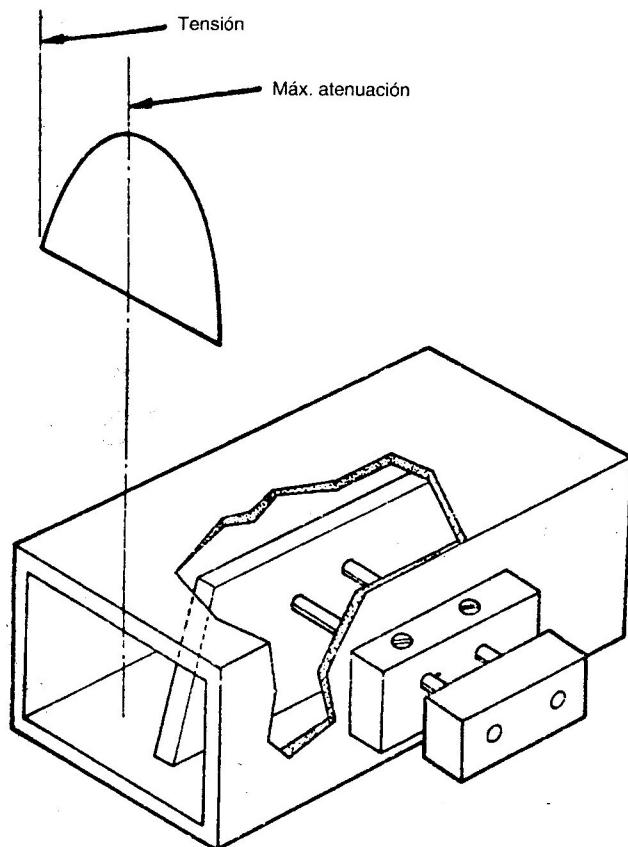


Fig. 1

en el campo eléctrico de la guía de onda, aparece una distribución de carga en el que tiende a anular el campo, produciéndose la atenuación.

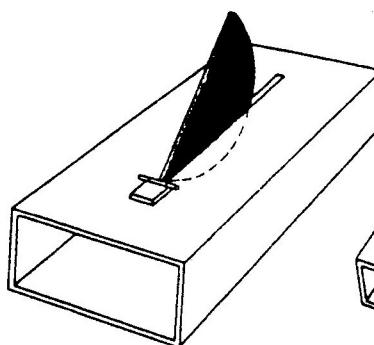
El cristal tiene forma ahusada para que en lugar de producir una única reflexión, se produzcan muchas pequeñas. De esta manera la desadaptación es menor y, por lo tanto, lo es la reflexión de señal.

El término de atenuador "padding" es porque se usa para aislar a la fuente de señal de microondas (generalmente un klystron) del circuito exterior. De otra forma, las reflexiones producidas en el circuito llegarían sin atenuación a la fuente de señal; con ello se podrían producir variaciones tanto en la frecuencia como en la potencia de salida. Es normal un valor de atenuación entre 6 y 10 dB para desacoplar a través del atenuador, la fuente de señal del circuito exterior, pudiendo llegar a 40 dB. La relación de ondas estacionarias típicas que presenta es 1:1,1.

Estos atenuadores de baja potencia, habitualmente emplean una película de carbón rociada sobre una tarjeta de sostén de vidrio o baquelita delgada. El ahusamiento de la cuna puede ser en uno de sus extremos o en ambos, para una profundidad de por lo menos $\lambda_c/2$.

Existen 2 tipos básicos: a) atenuador de *faldón*; b) atenuador de *paredes laterales*. El primero es de fácil construcción, pero, el campo de la guía de onda penetra en la ranura y se irradia al exterior. Por ello es que el más usual es el atenuador de paredes laterales.

ATENUADOR DE FALDON



ATENUADOR DE PAREDES LATERALES

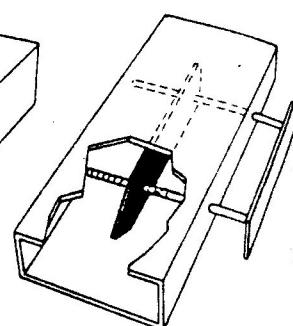


Fig. 2

Atenuador calibrado

Los atenuadores calibrados trabajan según el mismo principio descrito anteriormente. La única diferencia está en el mecanismo de actuación sobre el elemento atenuador. En el caso anterior el mecanismo es simple y no tiene ningún indicador; en el caso del atenuador calibrado, está diseñado para un conjunto de atenuaciones predeterminadas, moviéndose el elemento absorbente por medio de un micrómetro.

Si el grado de precisión requerido no es elevado, se reemplaza el tornillo micrométrico por un sistema de tornillo simple.

En ambos casos, se acompañan curvas de calibración para traducir el giro del tornillo en un valor de atenuación.

Acoplador direccional

Generalidades

Un acoplador direccional es un componente que se usa para tomar una muestra de señal de una guía de onda o coaxil e introducirla en otra guía o coaxil.

Las principales aplicaciones son: a) medición rápida (aunque no sea exacta) del coeficiente de reflexión; b) adaptación de líneas de transmisión (con la ayuda de transformadores de impedancia); c) pruebas del funcionamiento de un generador de microondas (deriva y detecta una pequeña parte de la energía).

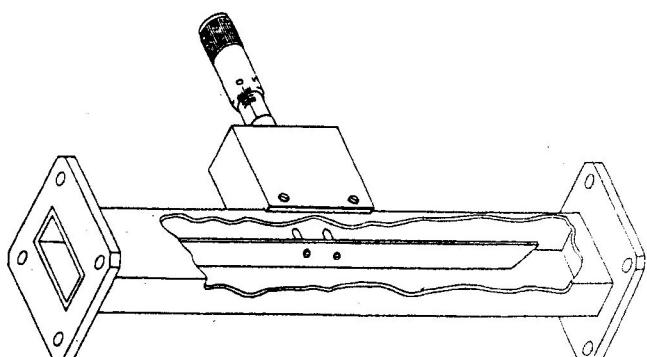


Fig. 3

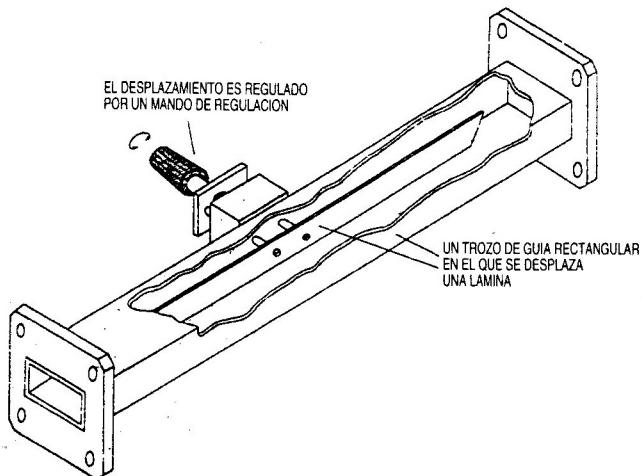


Fig. 4 – La atenuación máxima es de 30 dB. El grado de onda esfacionaria es 1.1.

Habitualmente se requiere que la potencia del acoplador (P_c) se desplace en forma unidireccional en la línea secundaria. Esto nunca es totalmente alcanzable y cierta energía no deseada (P_L) fluye en la dirección inversa y se descarga en una carga adaptada. Habitualmente, la suma de $P_c + P_L$ es pequeña en comparación con la potencia trasmisiva P_r .

Se define como acoplamiento a la relación de P_c a la potencia incidente sobre el acoplador (P_r).

$$\text{Acoplamiento (dB)} = 10 \log (P_r/P_c)$$

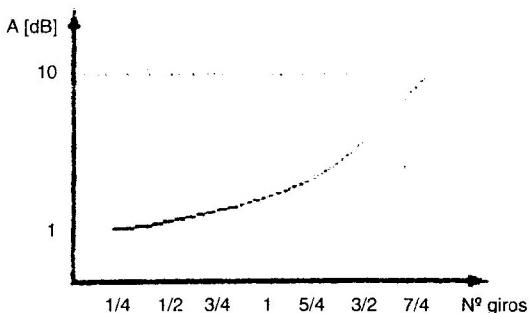
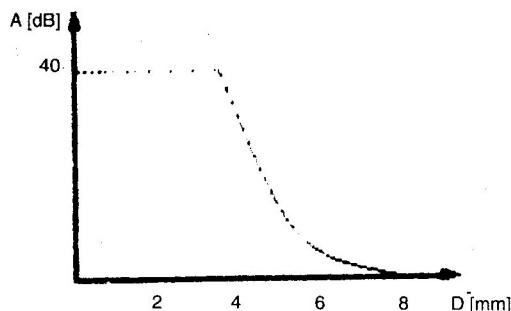


Fig. 5

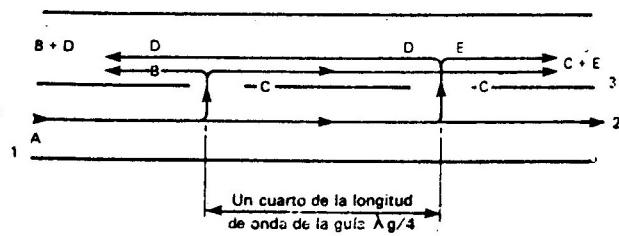


Fig. 6

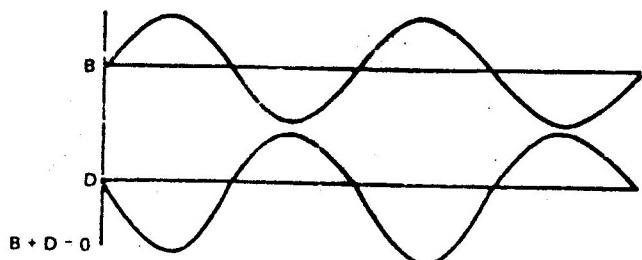


Fig. 7 – D ha viajado media longitud de onda más que B.

Se supone que la potencia acoplada ve una carga adaptada.

Se define como *directividad* a la relación de P_c a P_L , la que da una medida de la supresión de energía en la dirección no deseada:

$$\text{Directividad (dB)} = 10 \log (P_c/P_L)$$

El factor de acoplamiento, variable con el menor o mayor acoplamiento; tiene valores para los casos normales que varían entre los 3 y entre los 20 ó 30 dB. La directividad suele tener valores de 30 a 35 dB, que son adecuados para la mayoría de las aplicaciones.

Existen dos tipos de acopladores direccionales en guías de onda: a) de doble ranura; b) de pared ancha.

Acoplador direccional de doble ranura

Dos guías de onda idénticas tienen una pared angosta en común. Están acopladas mediante dos agujeros circulares idénticos, cuya separación S de centro a centro es $1/4$ de la longitud de onda de la guía: $\lambda_g/4$.

Si una señal A se introduce por la rama 1, cuando alcanza el primer agujero, parte de la señal se transmite a la segunda guía y se propaga en ambas direcciones B y C . Al llegar al segundo agujero ocurre lo mismo y parte de la señal A se transmite a la segunda guía; propagándose en la parte superior, en la rama 3 se tiene $C+E$ y en la 4 se tiene $B+D$.

Si los agujeros de acople se hacen iguales y se separan $\lambda_g/4$, ocurre que la señal D ha recorrido una distancia $\lambda_g/2$ más que la B , por lo que ambas están en contrafase y su suma da un resultado nulo, pues la amplitud es la misma al ser iguales los agujeros.

No ocurre así con A y C que recorren el mismo espacio y están en fase, siendo su suma el doble de valor de una de ellas.

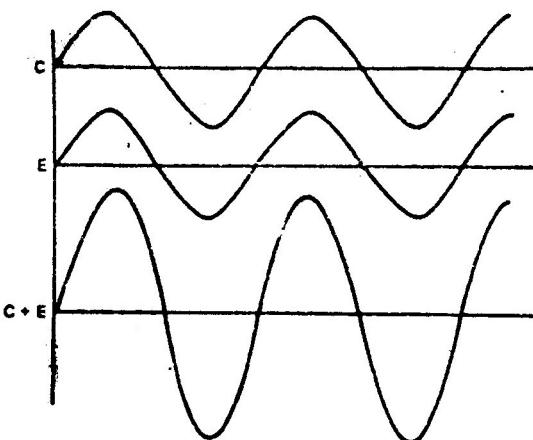


Fig. 8 – Ambas ondas viajando.

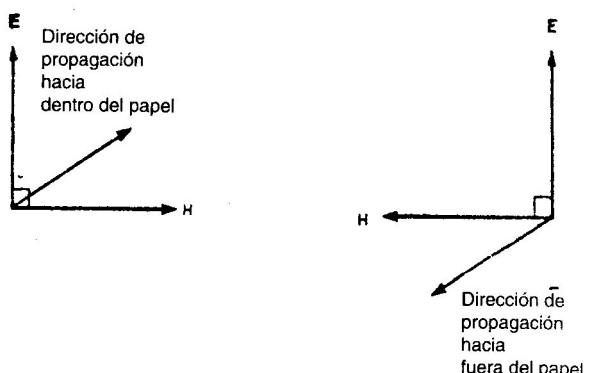


Fig. 10

cha común de dos guías de onda vecinas, es la forma de producir el acoplamiento.

En la zona de acople, el campo eléctrico pasa a través del agujero y se divide en la guía superior, propagándose en ambos sentidos.

En la Fig. 12 se ve que el sentido de propagación de la onda electromagnética es de derecha a izquierda, tanto para el campo que hay a la derecha, como a la izquierda del agujero. De esta manera, se puede ver que este acoplador es directivo sin necesidad de hacer varios agujeros distanciados $\lambda_G/4$.

Alimentando por la puerta 1 de la Fig. 6 se tendrá energía en las puertas 2 y 3. La relación entre la potencia en 3 y la potencia en 1 es el factor de acoplamiento. La directividad viene dada por la relación entre las potencias de 3 y 4. Alimentando en 2 se tendrá señal en 1 y en 4.

A los fines de lograr una alta directividad, se hace girar el brazo secundario según un ángulo θ . La finalidad de la rotación es la de reducir el campo acoplado producido por el acoplamiento magnético, para igualarlo con aquél producido por el acoplamiento del campo E en la dirección de la terminación.

El agujero de acoplamiento no necesita ser circular. En la práctica se realiza en forma de cruz.

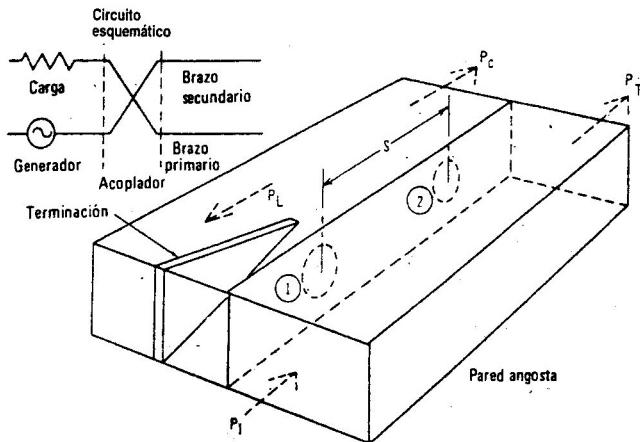


Fig. 9 – Acoplador de dos agujeros.

Así, introduciendo una señal dentro de la guía por la rama 1, se tendrá salida en las ramas 2 y 3.

De igual forma, introduciendo la señal por 2, hay salida en 1 y 4.

Acoplador de dos agujeros

El acoplador anterior solo trabajaría correctamente a una frecuencia determinada: aquélla para la que el espaciamiento de los agujeros coincide con $\lambda_G/4$.

Para aumentar el ancho de banda se ponen más agujeros, pero de menor tamaño; esto es a los fines de lograr que aumente la transmisión de energía de una guía a la otra.

Acoplador direccional de pared ancha

El sentido y dirección de los campos E y H es perpendicular en relación con la dirección y sentido de propagación. Aplicando la regla del tornillo, el sentido de propagación es el que tendría un tornillo que girase de E a H por el camino más corto.

En el acoplador de pared ancha (también llamado acoplador de agujeros de Bethe, en homenaje a su inventor Hans Bethe), un simple agujero a través de una pared an-

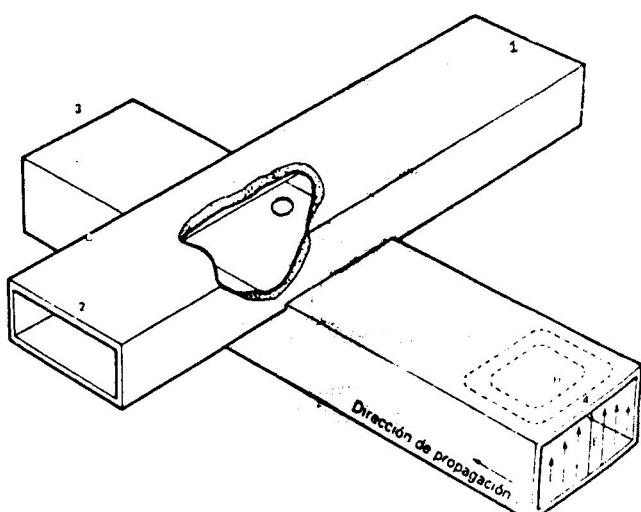


Fig. 11

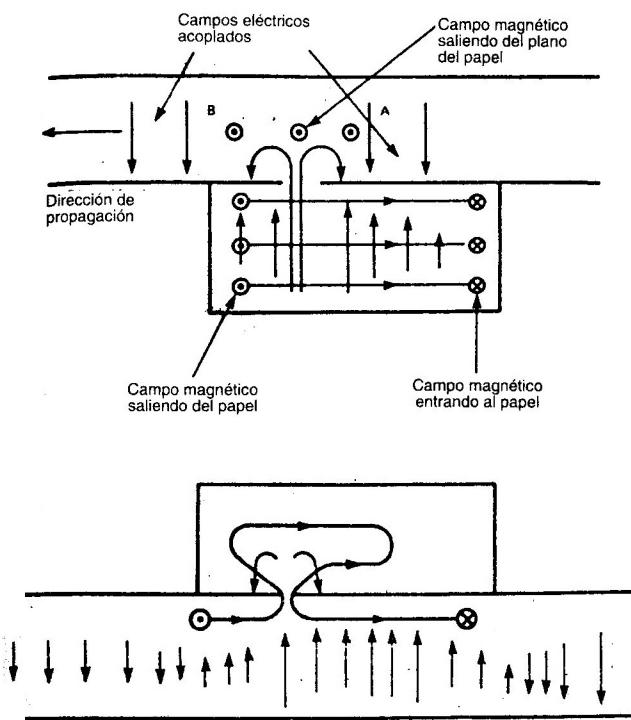


Fig. 12 – El campo magnético sigue un camino como el mostrado.

Se realiza así pues la discontinuidad en la guía principal es menor con un agujero cruciforme que con uno circular, para el mismo grado de acoplamiento.

La construcción de estos acopladores se realiza generalmente con dos cruces, pues así se reduce la discontinuidad en la guía primaria. Espaciando correctamente las cruces, se puede optimizar la directividad.

Cargas adaptadas

Se usan para absorber potencia con la menor reflexión posible. Tienen una gran variedad de usos, pero el principal es aquél en que reemplaza a una antena, a los fines de poder hacer una medición en un sistema de guía de onda sin producir irradiación de señal al exterior.

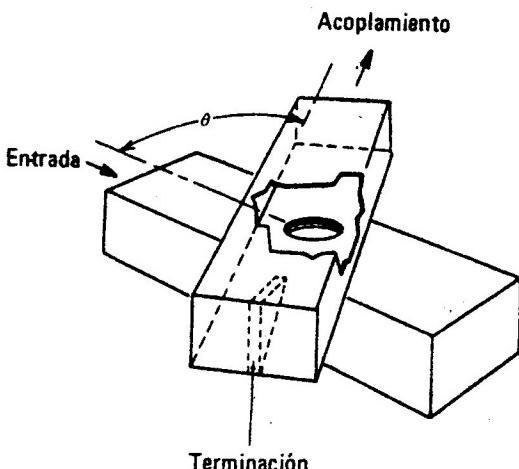


Fig. 13

Fig. 14

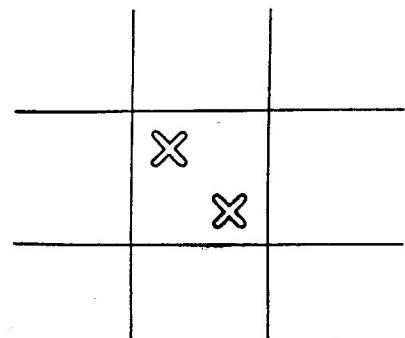
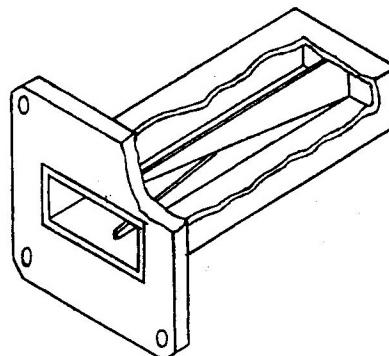


Fig. 15



La carga se sitúa en un corto tramo de la guía de onda sujeta entre una pestaña y la pared metálica que cierra la guía.

Está construida de un material compuesto por resina y polvo de hierro. Cuando las ondas inciden en el hierro, se producen corrientes parásitas y se disipa la energía por calentamiento. La forma de la carga es ahusada para evitar reflexiones.

El elemento disipativo tiene que ser lo suficientemente largo para producir una gran atenuación. Lo normal es que atenúe 100 veces la señal, lo que da una potencia de señal reflejada 10.000 veces menor que la incidente, ya que la señal reflejada pasa dos veces por el disipador. Este valor se considera que corresponde a una adaptación perfecta, ya que cualquier discontinuidad en la guía, por pequeña que sea, produce mayores reflexiones.

Medidor de frecuencia

Todos los medidores de onda de microondas trabajan según el mismo principio. Una cavidad ajustable se acopla a la guía y se varía su tamaño hasta que resuena a la frecuencia de la señal que pasa por la guía. En estas condiciones la cavidad puede almacenar energía y absorbe parte de la señal de la guía.

La operación con el medidor se hace ajustando la cavidad acoplada, cuyo volumen se varía por medio de un tornillo micrométrico. Cuando se nota un decrecimiento en la señal de la guía pasante a través del medidor (también llamado ondámetro de cavidad), se mide la longitud de la cavidad y se puede encontrar la frecuencia de la señal que circula por la guía.

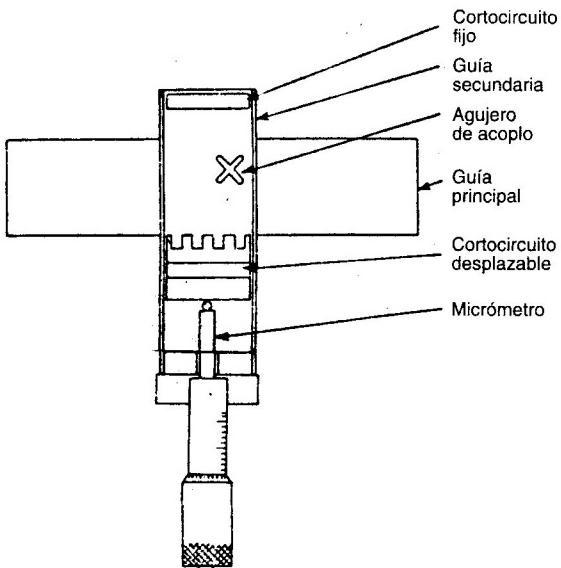


Fig. 16

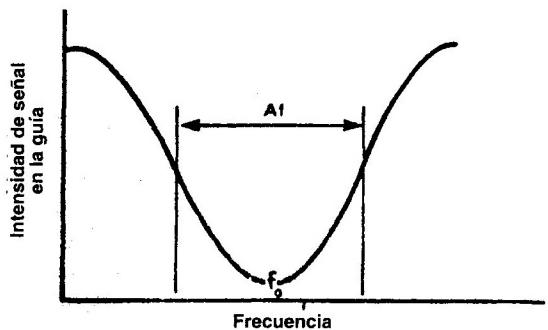


Fig. 18

Este tipo de medidor de onda tiene la ventaja de poder ser calibrado directamente en longitudes de onda de la guía.

La curva de sintonía del medidor es como la de un circuito resonante.

En esa curva, los puntos de potencia mitad son del orden de 1/1.000 de la frecuencia de resonancia.

$$\Delta f = \frac{1}{1.000} f_{\text{RES}}$$

Se dice que el medidor de onda tiene un Q de 1.000. Valores más altos de Q se pueden obtener fácilmente usando otras formas de cavidad; pero para la mayor parte de los medidores de onda, no es necesario mayor Q .

La obtención del valor de frecuencia se lleva a cabo por medio de curvas de calibración.

Guías ranuradas

En cualquier línea de transmisión existen ondas estacionarias por reflexiones debido a desadaptaciones en sus ex-

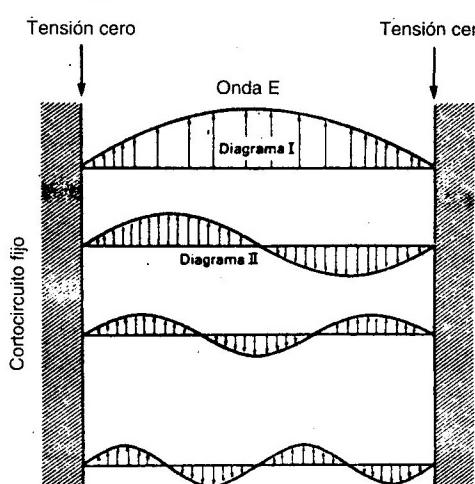


Fig. 17

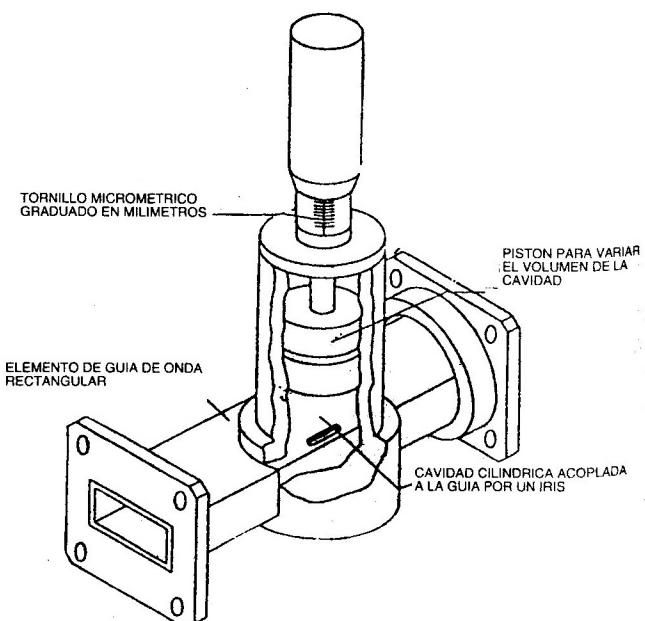


Fig. 19 – El ondámetro permite medir la longitud de onda, y por consiguiente, la frecuencia de una onda electromagnética.

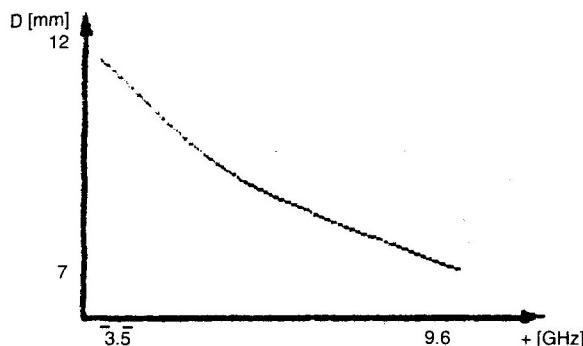


Fig. 20

tremos. La medida de su amplitud y posición da una completa información de cómo está adaptada la guía y de lo que debe hacerse para adaptarla correctamente.

La onda estacionaria es explorada por medio de una punta de prueba que se introduce en la guía a través de una ranura hecha en la pared ancha. La punta se conecta directamente a un detector de cristal para que rectifique la corriente inducida en ella.

Por supuesto que esta medida ha de ser hecha de forma que no perturbe la situación de los campos en la guía. En caso contrario, la medida sería falsa o, cuando menos, poco exacta a causa de la propia alteración que supone el método de medida.

Para conseguir que no haya perturbación, la ranura debe hacerse en el centro de la guía y a lo largo de la pared ancha, puesto que los electrones no tienen que cruzar esta línea. Todos los electrones fluyen alejándose de la línea, pero ninguno la cruza. Se deduce que a lo ancho de la ranura no debe haber tensión (naturalmente sí lo hay a lo largo de ella y es ésta la que estamos interesados en medir). Así pues, si la ranura se hace en la línea central de la pared ancha, no debe producirse apenas alteración en los campos en guía.

La ranura debe practicarse lo más estrecha posible y exactamente en la línea central de la guía. Si la ranura no fuese estrecha y recta, la sonda de prueba detectaría las variaciones de tensión que hay a lo ancho de la guía y ésto no es de interés pues lo que se trata es de medir las ondas estacionarias. Además, lo que se introduce la sonda, no tiene que variar cuando se la desplaza a lo largo de la guía, pues

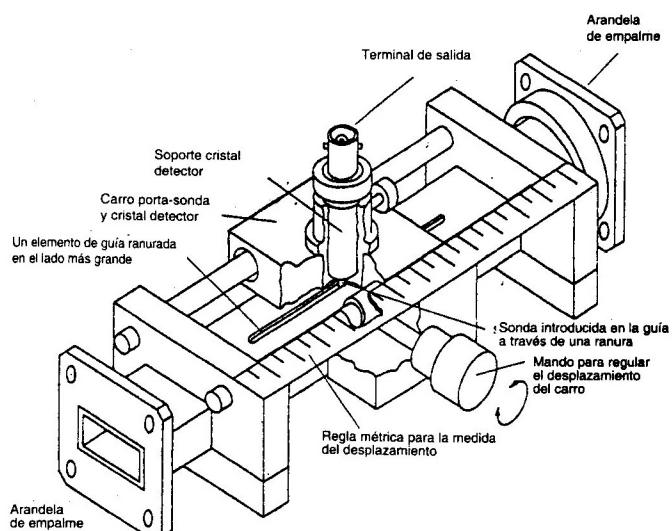


Fig. 21

sino se varía el acoplamiento de la sonda a la guía, lo que también origina un error en la medida.

La sonda está situada en un carro que se mueve a lo largo de la guía por su parte superior. El carro se debe poder mover con facilidad. La posición de la sonda es indicada en una escala exterior.

La punta de prueba excita al cristal rectificador que está montado en una línea coaxil. Este cristal rectifica la señal de microondas.

Estos dispositivos tienen un acoplamiento del orden de 20 a 25 dB (la señal que se obtiene es 20/25 dB menos que la señal en la guía) dentro del rango de frecuencia de trabajo de la guía ranurada.

Una vez acoplada la sonda a la guía y moviendo el carro hacia uno y otro lado, se puede detectar la presencia de máximos y mínimos de la onda estacionaria en la guía. Con la ayuda de la escala graduada, se puede determinar el lugar exacto y la distancia entre los máximos y mínimos de la onda estacionaria en la guía. ■

Bibliografía

- S. Liao: "Microwave devices & circuits".
- A. W. Cross: "Experimentos de microondas".
- H. Mooijweer: "Técnica de las microondas".